国产高端电能表应用研究中关于加拿大采用基波有功计量的讨论

张春晖 [1]　张震 [2]

（1. 国 网 山 东 省 电 力 公 司， 山东 济南 250100；2. 华能济南黄台发电有限公司，山东 济南 250100）

摘　要：本文介绍了加拿大采用基波有功功率进行电能计量的概况和专家讨论中提出的问题。加拿大在2021年安装的所有仪表都采用基波功率进行电能计量，引起了国际关注。专家讨论中涉及到谐波有功功率的方向、对基波计量的不同看法、电子开关产生的谐波、基波有功计量合理性和谐波负荷功率算法的适用性等问题。作者认为，采用基波计量有功电能是折衷计量方案，对电网和用户都有益处。国内电表行业需要分步研究与引用加拿大的经验，并修订有功电表的 IEC 标准或国标，以明列基波有功计量。

关键词：基波有功计量　电能计量

中图分类号：TM933.4

Discussion on the use of fundamental active power measurement in Canada in the application research of domestic high-end meters

ZHANG Chunhui[1] ZHANG Zhen[2]

(1.State Grid Shandong Elect Power Co Ltd,Jinan , Shandong 250100 , China;2.Huaneng Jinan Huangtai Power Generation Co. , Ltd. , Jinan , shandong 250100 , China)

Abstract: This paper introduces the overview of Canada's use of fundamental active power for electric energy metering and the issues raised in expert discussions. The installation of all meters in Canada in 2021 used fundamental power for electric energy metering, which has attracted international attention. Expert discussions involve issues such as the direction of harmonic active power, different views on fundamental power metering, harmonics generated by electronic switches, the reasonableness of fundamental active power metering, and the applicability of harmonic load power algorithms. The author believes that the use of fundamental active power metering is a compromise metering scheme that benefits both the grid and users. The domestic metering industry needs to gradually study and apply Canada's experience, and revise the IEC standard or national standard for active power meters to clearly list fundamental active power metering.

Key words: Fundamental active power measurement　Energy metering

0　引言

电网电能计量点及选用的电表

电能表主要用于电网供电量、售电量的计量，其计量点广域分布。紧随电网技术升级、转型发展，电能表的计量地位也不断提升、延伸。

售电量计量：

传统电网的售电量计量点，电能表处于配电网与用户的连接节点，是配电网的终端，承担电力贸易结算的计量任务。

2009 年起，智能电网的售电量计量点，电能表处于配电网与用户连接的中间节点，除承担电力贸易结算的计量任务，新增配电网与用户的高级互动功能。

进入 2019 年，国网泛在电力物联网（包括配电物联网）的售电量计量点，电能表处于配电网与用户连接的中间节点，除承担电力贸易结算的计量任务、高级互动功能，新增延伸用户侧电力物联网的泛在连接、全息感知的功能。

供电量计量：

发电厂上网电量计量点，网外输入、输出电量计量点：汇总这些计量点的电量，就是电网总供电量，与电网总售电量之差，可以计算出电网线损率。

高压线路的供电端与受电端计量点的电量之差，可以计算出高压线路的线损率。

低压配变台区总表的计量电量，与该台区范围内用户电表计量电量的合计电量之差，可以计算出低压配变台区线损率。

以上叙述的电网供电量、售电量的计量点，早期采用感应式电表计量；2005 年之后，主要应用现代电能表（即电子式电表、智能电表、未来的新一代智能电表）计量。

2006---2016 年，本文作者与郑州万特、威胜、重庆市电科院、青岛东软、东方威思顿、隆基宁光、重庆华立、7 个单位合作进行高端电子式电表应用研究。

1、国产电子式电表的起源、发展的进程：

1990 年前后，华北电网计量部门先期引进斯伦贝谢公司单相电子式（模拟乘法器）预付费电表；

1992---1993 年 ，国内设计生产 1 级电子式（模拟乘法器）单相/三相电表；

1995 年，威胜 0.5S 级电子式（数字乘法器）三相多功能电表通过部级技术鉴定；

2000 年，科陆 0.2S 级电子式三相多功能电表问世；

2002 年，威胜推出具有谐波（有功）计量分析功能的 0.2S 级三相多功能电表；

2011 年，威胜研发出采用数字化算法的 0.1S 级高精度结算关口三相电表；

2013 年 12 月，GB/T17215.303---2013《数字化电能表》发布。数字化电能表在数字化高压变电站挂网运行多年；

2016 年 8 月，GB/T32856---2016《高压电能表通用技术要求》发布。10kV 高压电能表挂网运行已有 10 多年；

2017 年 5 月，GB/T17215.324---2017/IEC62053---24:2014《静止式基波频率无功电能表（0.5S 级、1S 级和 1 级）》发布。IEC 首次提出谐波计量中的基波无功电能计量应用；

2017 年 5 月，GB/T33708---2017《静止式直流电能表》发布。前几年，不同行业多类型直流电能表推向市场应用。

由以上进程表明：2005---2019 年，正是国产电子式电表由起步多年之后，进入统领国内电表市场，产品设计及质量不断改进、升级，建立起计量准确度等级、计量门类较为完整的国产电子式电表体系。但是，国产高端电子式电表尚未全面进入国内电网关口计量主表地位、国际高端电表市场。由此，给国产高端电子式电表应用合作研究提出了课题。

2、高端电子式电表应用合作研究的重点：

高端电表的 IEC 标准/国标、电力行标的解析与局限性；

进口高端电子式多功能电表差异化设计；

国产高端电子式电表技术特征与质量改进、升级；

威胜：电子式电表研发进程；

谐波电能计量、数字化电表、直流电能表检定技术的讨论；

兰吉尔高端电子式电表、GE 电子式电表的设计技术；

鉴别三相多功能电表品质的特殊试验技术合作研究；

推进国产高端电子式电表全面进入国内电网关口计量主表地位、国际高端电表市场。

3、高端电子式电表应用合作研究的案例

根据高端电子式电表应用合作研究的结果与提出的新问题，本文作者陆续撰写并发表下列文稿：

（1）三相多功能电能表的应用技术发展与产品技术争议（2005 年 3 月 14 日）

（2）电子式电能表高技术领域多方合作开发方式的起源与走向（2007 年 11 月 20 日）

（3）多功能电能表标准与性能评估（品质）试验方法（初稿）（2008 年 6 月 4 日）

（4）电子式三相多功能电能表品质试验技术合作研究课题备忘录（2008 年 10 月 7 日）

（5）电子式三相多功能电能表品质试验方法部分实施细则（2008 年 9 月 16 日）

（6）电网关口电能表性能评估试验技术初探（2008 年 2 月 21 日）

（7）三相多功能电能表品质试验方法初探（2009 年 4 月 1 日）

（8）中国电子式电表如何融入国际高端市场的思考与建议（2012 年 3 月 18 日）

（9）国产高端电表为何久久未能进入电网关口计量主表地位？——国产与进口高端电表性能差异及其测试技术研究（2016 年 5 月 25 日）

（10）1997 年国际上电子式电能表的技术水准——《电能表应用研究 60 年回忆录（第 2 篇：第 1 集）》（2017 年 10 月 30 日）

（11）威胜：从创业到进入中国电子式电表开拓领航地位的进程与创新产品——《电能表应用研究 60 年回忆录（第 3 篇：上集）》（2017 年 11 月 13 日）

（12）数字化三相电能表检定装置技术的应用与系统开发/ 直流电能表检定装置技术的应用与深化研究——《电能表应用研究 60 年回忆录（第 1 篇：第 2 集）》（2017 年 11 月 21 日）

（13）谐波电能计量技术发展的回顾与期望——《电能表应用研究 60 年回忆录（第 2 篇：第 2 集）》（2018 年 1 月 26 日）

（14）威胜：2011 年推出中国第 1 台 0.1S 级采用数字乘法器的高准确度结算关口电表——《电能表应用研究 60 年回忆录（第 3 篇：下集）》（2018 年 4 月 5 日）

（15）国网：GE 智能电表合资项目的前前后后——《电能表应用研究 60 年回忆录（第 4 篇美国 GE 电能表：第 1 集）》（2018 年 7 月 18 日）

（16） 瑞士兰吉尔高精度结算关口电表设计的新跨越（2018 年 8 月 15 日）。

4、加拿大采用基波有功计量的讨论

2005 年前后，国内，对谐波影响有功计量的讨论是个热点；2010 年之后，这方面的报道就很少。

2019 年 7 月 25 日，中国现代电网量测技术微信群专家对网上报道：加拿大采用基波有功功率进行电能计量给以高度关注，并进行了长时间的讨论，很有收益。

（1）加拿大采用基波有功功率进行电能计量的概况

1）加拿大：2021 年安装的所有仪表采用基波功率进行电能计量。

在进行成本效益分析（由加拿大公用事业公司提供）并经贸易部门审查后，将进行改革。

2） 加拿大在国际（计量）会议上解释：在使用正弦波信号时，对于有功和无功电能计量应采用更一致的模型。

2019 年 5 月，芬兰第二次会议关于基波与谐波功率的讨论：

— 基于 Budeanu 或 Fryze 功率模型的 Watts，Vars 和 VA 的传统”功率三角形”在非正弦波条件下不起作用。IEEE1459 标准的功率模型可提供合理的计算方法。

— 在许多司法管辖区、监管机构或其它机构明确规定供电频率为 50Hz 或 60Hz，以谐波频率购买或销售电能，在这个司法管辖区是非法的，而电表应反映法律要求。

— R46 仅用基波电能计量的仪表。

— 标准装置应能计量基波电能。

3）采用基波计算有功和无功功率非常重要，加拿大已同意向 IEC TC13 提供相关背景信息。

4）本文点评

以上的网上报道：传递国际电能计量新的走向，国内需要研究与引用。其要点：

— 国际上，以谐波频率购买或销售电能，在许多司法管辖区是非法的。

— 仪表应反映法律要求；R46 仅用基波电能计量的仪表：标准装置应能计量基波电能。

— 非正弦条件下，IEEE1459 标准的功率模型，可提供合理的计算方法。

（2）本群内专家讨论时提出的问题：

1）谐波有功功率的方向？

— 采用红相电表计量表明：谐波有功功率不大，其功率方向时正、时负。

— 用户侧，基本上谐波有功功率是负的。谐波由负载产生，都是负的，很快就衰减成为线损。

2）对基波计量的不同看法

— 基波计量，不能达到对污染源进行惩罚

— 按照 IEEE1459，畸变功率为 Di、Dv、Dh，主要是 Di 影响大。

— 对非线性污染负荷，采用电流畸变功率 Di 予以处罚，是符合”谁污染谁治理”的成本原则。

3）电子开关产生的谐波？

— 现有理论，各类型谐波中不好解释的是电子开关产生的谐波。

— 电子开关前后能量频谱分布不一样，是何原因？

— 基波能量计量，对于电子开关前后的基波电能差异就很大，需要研究。

3）基波有功计量合理

— 支持基波计量。国内一直就放任谐波污染，缺乏管控。只有采用基波计量，才能引导发电方和用电方的电能质量管控意识，有可能推动谐波治理装置的产业化。

— 电网交易是 50Hz 能量；R46 修订版，很有可能按照基波来做。

— 按照电力法，基波电能用于结算是名正言顺。

4）有些计算谐波负荷功率的算法不适用/不正确

— 非线性负荷具有连续的频谱，DFT 算法已经不能解决问题。如间谐波产生的畸变，会被离散化而不被测量。目前，有些标准表就测不出来。

— 现在的电表带宽不足，对非线性负载的谐波负载，测量到的能量误差偏负，就是少计电量。

— 现有表计，全波计量和基波计量差别不大。如果基波+|谐波|，那差异就大一些。

5）IEC 电表新标准，无功电表测量已经明确采用基波无功。

（3）本文作者在讨论中表述的意见：

1）加拿大 2021 年安装的所有仪表采用基波功率进行电能计量，国际上是先例，国内电表行业需分步研究与引用。

2）国内谐波计量技术争议可以追溯到 1998 年前

— 2004 年，中国电科院计量所发布电网电能质量研究报告，提出现行电网谐波计量不合理问题，需要改变计量方式。

— 随后，中国电科院又向国家质检主管部门提交电网谐波计量不合理问题的报告，要求改变计量方式。但是，一直没有回复。

3） IEC 标准/国标已经采用基波无功计量，提高无功计量准确度（GB/T17215.324---2017/IEC62053.24---2014）

4）采用基波计量有功电能是折衷计量方案。对电网，减少一些电费损失；对谐波源用户，减少一些抑制谐波设备的投资。

5）根据国产基波有功表的设计情况，经傅立叶变换后计量精度要降低。国内实施基波有功计量，需要新的算法研究。

6）基波计量是调节谐波负荷下，电力贸易结算计量合理性的策略，不是解决谐波电流下计量准确性问题，讨论不在同一焦点上。

结语

国内如何实施基波有功计量？

— 只有有功电表的 IEC 标准或国标、电力行标修订时，明列基波有功计量。经过一段时间的试用，国内就认可基波有功计量方式。

— 如中国计量院与中国电科院经协商采用基波有功计量方案，更是电表行业的期望。

参考文献

［1］张春晖　张震　国产高端电能表应用研究中关于加拿大采用基波有功计量的讨论

作者简介： 张春晖 男， (1938-)， 从事电能计量技术研究。

通讯作者： 张震 男， (1977-)， 从事电能计量技术研究 721047546@qq.com